

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

## CONHECER PARA DESCOMMISSIONAR: MONITORAMENTO DE INVERTEBRADOS AQUÁTICOS NA BACIA DO RIO PANDEIROS

*Diego M. P. Castro; Marden S. Linares; Marcos Callisto*

Universidade Federal de Minas Gerais – ICB/DGEE  
Campus Pampulha, Belo Horizonte/MG  
[diegobioufla@gmail.com](mailto:diegobioufla@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais – ICB/DGEE  
Campus Pampulha, Belo Horizonte/MG  
[mslx@hotmail.com](mailto:mslx@hotmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais – ICB/DGEE  
Campus Pampulha, Belo Horizonte/MG  
[callistom@ufmg.br](mailto:callistom@ufmg.br)

**Abstract:** Hydroelectric dams are among the anthropic impacts that most affect aquatic ecosystems, as they fragment aquatic ecosystems and their drainage basins. The Pandeiros Dam is located in the Pandeiros River basin, currently deactivated. Several studies are being conducted to assess the environmental benefits and risks regarding the potential decommissioning of the dam. Therefore, it is essential that prior monitoring of biotic and abiotic variables is carried out in order to understand the spatial and temporal dynamics of aquatic communities directly affected by the possible decommissioning. In this work, we performed a temporal analysis of the macroinvertebrate community in order to know its natural variability. We collected samples at 8 sampling sites in the dry and rainy periods. We did not find significant differences in the composition, richness and abundance of macroinvertebrates when comparing periods of drought and rain in the same year. However, we observed a marked variation in taxonomic composition, richness and abundance of macroinvertebrates between periods of drought over an interval of 4 years. Despite this difference in the structure and composition of aquatic invertebrates, there were no differences in the physical and chemical parameters of the water. Even at reduced time scales (years), macroinvertebrate communities can have significant variations in their composition and structure. For the future revitalization of the São Francisco River basin, biomonitoring of its waters and tributaries such as the Pandeiros.

**Resumo:** Barragens hidrelétricas estão entre os impactos antrópicos que mais afetam os ecossistemas aquáticos, pois fragmentam os ecossistemas aquáticos e suas bacias de drenagem. Na bacia do Rio Pandeiros está localizada a PCH Pandeiros, atualmente desativada. Diversos estudos estão sendo conduzidos para avaliar sobre os benefícios e riscos ambientais quanto ao potencial descomissionamento da barragem. Portanto, é essencial que seja realizado um monitoramento

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

prévio de variáveis bióticas e abióticas com o objetivo de se conhecer a dinâmica espacial e temporal das comunidades aquáticas diretamente afetadas pelo possível descomissionamento. Neste trabalho realizamos uma análise temporal da comunidade de macroinvertebrados com o objetivo de se conhecer sua variabilidade natural. Coletamos amostras em 8 sítios amostrais nos períodos de seca e de chuvas. Nós não encontramos diferenças significativas na composição, riqueza e abundância de macroinvertebrados comparando períodos de seca e chuva em um mesmo ano. Contudo, observamos acentuada variação na composição taxonômica, riqueza e abundância de macroinvertebrados entre períodos de seca em um intervalo de 4 anos. Apesar dessa diferença na estrutura e composição de invertebrados aquáticos, não foram observadas diferenças nos parâmetros físicos e químicos da água. Mesmo em reduzidas escalas temporais (anos), as comunidades de macroinvertebrados podem ter significativas variações em sua composição e estrutura. Para a futura revitalização da bacia do Rio São Francisco, recomenda-se o biomonitoramento de suas águas e tributários como o Rio Pandeiros, incluindo o monitoramento após a remoção da PCH Pandeiros.

**Palavras-chave:** Pandeiros, PCH, descomissionamento, biomonitoramento

## INTRODUÇÃO

Ecosistemas aquáticos continentais, embora constituam apenas 0,8% da superfície terrestre, oferecem importantes bens e serviços ecossistêmicos para a sociedade humana (Constanza *et al.*, 1997). Além disso, oferecem habitats e condições à manutenção de inúmeras espécies e desempenham importante papel na manutenção de comunidades aquáticas (Strayer & Dudgeon, 2010). No entanto, os ecossistemas aquáticos estão entre os ecossistemas mais ameaçados em escala global, ameaçando a manutenção da biodiversidade nativa e dos serviços ecossistêmicos (Dudgeon *et al.*, 2006). Efeitos da degradação de qualidade ecológica ligados à eutrofização, assoreamento, introdução de espécies exóticas, fragmentação de contínuos fluviais e alterações em regimes de vazões são alguns exemplos de impactos de atividades humanas sobre os ecossistemas aquáticos continentais (Reid *et al.*, 2019).

Barragens hidrelétricas estão entre os impactos antrópicos que mais afetam os ecossistemas aquáticos, pois atuam como barreiras fragmentando os ecossistemas aquáticos e suas bacias de drenagem. Como consequências das mudanças de um sistema lótico em um sistema lêntico, estão a alteração do regime hidrológico natural, as características físicas e químicas da água, o transporte de sedimentos e a disponibilidade de habitats, as quais impactam e causam mudanças significativas na composição e abundância de comunidades aquáticas (Maloney *et al.*, 2008).

O Brasil é reconhecido por sua grande quantidade de ecossistemas de água doce, muitos deles com alta diversidade e endemismo (Agostinho *et al.*, 2005, Abell *et al.*, 2008). A criação de áreas de proteção em diferentes regiões do Brasil representa um avanço em políticas de conservação. Contudo, as atuais unidades de conservação têm uma limitada eficácia em proteger a biodiversidade aquática, uma vez que estas áreas são delimitadas para proteção da biota terrestre, e em geral, ignoram espécies e ecossistemas aquáticos (Azevedo-Santos *et al.*, 2018). Além disso, a maior parte das unidades de conservação cobre apenas pequenos trechos de uma determinada bacia

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

ou unidade hidrológica. Uma exceção a este cenário é a bacia do Rio Pandeiros, importante afluente do trecho médio do Rio São Francisco, onde toda sua bacia hidrográfica encontra-se em áreas protegidas e seu rio principal é classificado como rio de classe especial. Neste rio está localizada a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Pandeiros, cuja operação iniciou-se no ano de 1957, teve sua licença de operação encerrada em 2008 e atualmente encontra-se desativada. Deste então, diversos setores da sociedade têm ponderado sobre os benefícios e riscos ambientais quanto ao potencial descomissionamento da barragem da PCH Pandeiros, que futuramente poderá ser uma medida de gestão inovadora visando a conservação da biodiversidade aquática neste importante rio. A remoção de uma barragem tem o potencial de causar impactos danosos de curto e médio prazos no ecossistema aquático a qual ela está inserida (Bednarek, 2001). Portanto, é essencial que seja realizado um monitoramento prévio de variáveis bióticas e abióticas com o objetivo de se conhecer a dinâmica espacial e temporal das comunidades aquáticas diretamente afetadas pelo descomissionamento, permitindo assim o desenvolvimento e aplicação de medidas de gestão de seus recursos hídricos.

Nesse contexto, comunidades de macroinvertebrados bentônicos são exemplos de organismos utilizados para o monitoramento ambiental, pois são diretamente influenciados pelas alterações decorrentes da implantação ou remoção de barragens, devido a mudanças no tipo e composição dos sedimentos, diversidade de habitats, temperatura e teores de oxigênio (Anderson *et al.*, 2015). Os macroinvertebrados bentônicos exercem um papel central nos ecossistemas aquáticos, pois participam nos processos de decomposição de matéria orgânica e no fluxo de energia, constituindo um importante elo nas teias tróficas aquáticas e no funcionamento de ecossistemas. Os macroinvertebrados bentônicos são amplamente utilizados como bioindicadores de qualidade de água e em estudos de monitoramento por algumas razões: são ubíquos; apresentam alta riqueza de táxons com diferentes níveis de sensibilidade a distúrbios; são relativamente sésseis e de fácil amostragem; e possuem ciclo de vida longo (Bonada *et al.*, 2006).

Assim, conhecer a estrutura e composição de comunidades bentônicas a montante e a jusante de barramentos e sua variabilidade temporal são essenciais para o entendimento e dimensionamento de possíveis impactos decorrentes do descomissionamento de uma pequena central hidrelétrica. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise temporal da comunidade de macroinvertebrados, comparando dados entre diferentes estações sazonais e conhecer a variabilidade natural da comunidade de macroinvertebrados bentônicos ao longo de 5 anos.

## MATERIAL E MÉTODOS

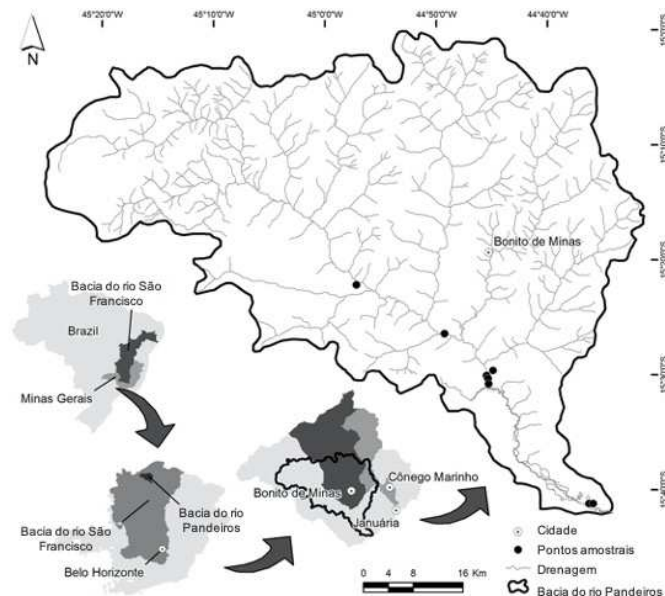
O trabalho foi desenvolvido no rio Pandeiros, estado de Minas Gerais. A bacia hidrográfica do rio Pandeiros abrange uma área de drenagem de 4.371 km<sup>2</sup> e está inserida no bioma Cerrado, com áreas de transição com a Caatinga. O rio Pandeiros possui extensão de 145 km, sendo classificado como de 6<sup>a</sup> ordem (Strahler, 1964) e é um importante tributário no trecho médio do rio São Francisco.

### A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

A região alagada e as veredas do rio Pandeiros estão entre as áreas prioritárias para conservação do bioma Cerrado, sendo também considerada de Importância Biológica Especial, por constituir-se em ambiente único no estado e possuir alta riqueza de espécies (Drummond et al., 2005). A maior parte de seu território (85,7%) compõe a Área de Proteção Ambiental da bacia do rio Pandeiros (3.719 km<sup>2</sup>), e a região pantanosa foi declarada pelo Decreto Estadual nº 43.910/2004 como Refúgio Estadual da Vida Silvestre do Rio Pandeiros (61 km<sup>2</sup>).

Localizada nesse rio está a Pequena Central Hidrelétrica (PHC) Pandeiros, instalada em 1957 e atualmente encontra-se desativada. Seu reservatório apresenta área de 280 hectares e sua barragem, de crista livre, altura máxima de 10 metros. Sua casa de força localiza-se cerca de 400 metros a jusante da barragem e, quando em operação, turbinava até 35 m<sup>3</sup>/s, com potência de 4,2 MW (Fonseca et al., 2008).

FIGURA 1: Localização dos pontos amostrais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais.



Foram determinados 8 sítios amostrais, sendo dois em trechos de curso livre a montante do reservatório (P1 e P2); dois em trechos afetados diretamente pela barragem da PCH Pandeiros (P3 e P5); dois em trechos de curso livre a jusante da barragem (P6 e P7); dois localizados em lagoas marginais na planície de inundação, sendo uma na área diretamente afetada pelo reservatório (P4) e outra na região do pantanal (P8).

As coletas foram realizadas em quatro campanhas no período de seca (setembro/2014, abril/2015, maio/2019 e agosto/2019) e duas no período de chuvas (dezembro/2014 e fevereiro/2015). Em cada sítio amostral foram coletadas quatro amostras de macroinvertebrados bentônicos utilizando um amostrador do tipo kick-net (30cm de abertura, 500µm de malha, área de 0,09 m<sup>2</sup>) em um transecto de 15m. Em cada ponto de coleta também foram medidas variáveis físicas e químicas na coluna d'água: temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido e turbidez.

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

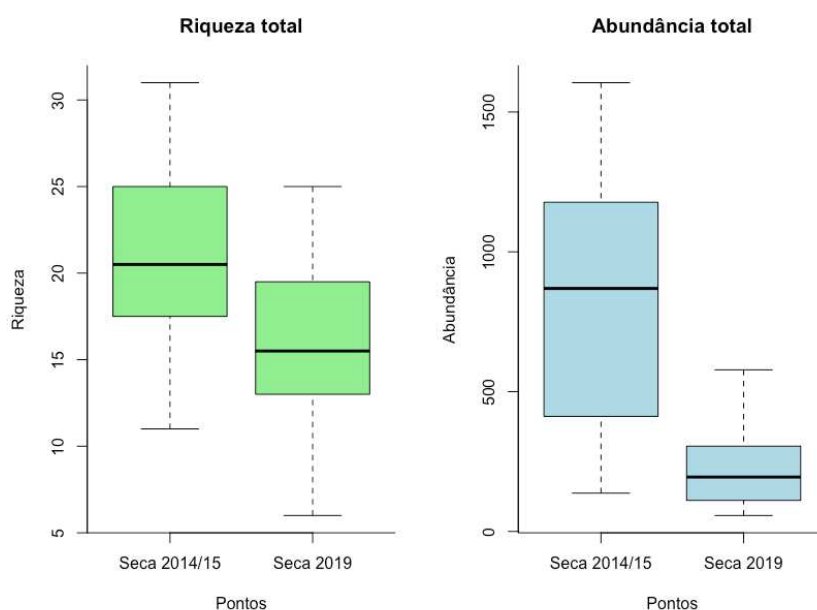
Para avaliar a variação temporal das comunidades de macroinvertebrados bentônicos foram realizadas duas abordagens: (i) seca (2014/2015) x seca (2019); e seca (2014/2015) x chuvas (2014/2015). Foram calculadas a abundância e riqueza de táxons para cada um dos períodos. Diferenças nas métricas riqueza, abundância e diversidade de Shannon-Wiener entre os períodos foram comparados por Análise de Variância (ANOVA). Análises de nMDS e PERMANOVA foram realizadas para testar as diferenças na composição taxonômica de macroinvertebrados entre os períodos. Por fim, foi realizado um teste *t* para testar diferenças nas variáveis físicas e químicas entre os períodos. Todas análises foram realizadas no software R utilizando o pacote *vegan*.

### RESULTADOS

Nas seis campanhas foram coletados 35.293 indivíduos distribuídos em 71 táxons. Destes, 17.427 indivíduos em 54 táxons na seca de 2014/15, 3.601 em 52 táxons na seca de 2019 e 14.265 indivíduos em 54 táxons na chuva de 2014/15.

Comparando os períodos de seca de 2014/15 e seca de 2019 foram observadas diferenças significativas na riqueza ( $F_{(1,30)} = 8.04$ ,  $p = 0.008$ ) e abundância ( $F_{(1,30)} = 20.35$ ,  $p < 0.001$ ) (Figura 2). As análises de nMDS e PERMANOVA evidenciaram diferenças significativas na composição taxonômica de macroinvertebrados entre os dois períodos de seca ( $F = 5.90$ ,  $p = 0.001$ ) (Figura 3A).

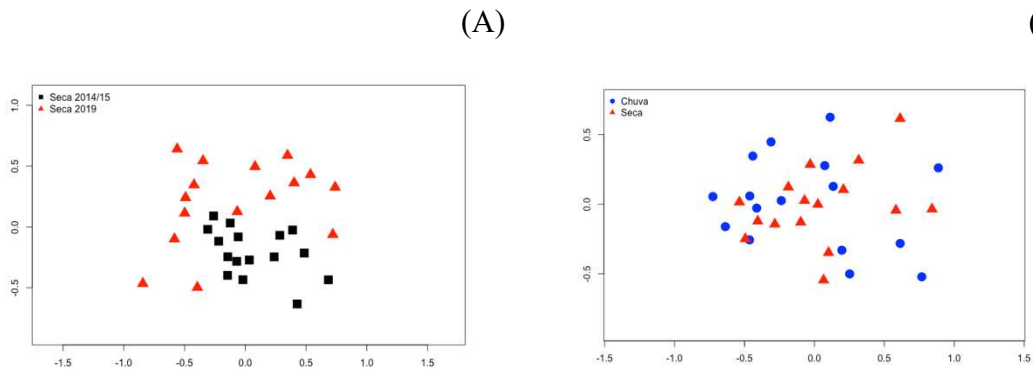
FIGURA 2: Riqueza taxonômica e abundância total nos pontos amostrais na bacia do Rio Pandeiros nos períodos de seca de 2014/15 e 2019.



A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

Quando comparados os períodos de seca e chuvas (2015), não foram encontradas diferenças significativas nos valores de riqueza, abundância e composição de macroinvertebrados (Figura 3B). Em relação às variáveis físicas e químicas na coluna d’água, foi observada diferença significativa somente nos valores de turbidez entre os períodos de seca (2014/15 e 2019) ( $t = -3.12, p = 0.004$ ) e chuva e seca ( $t = 2.90, p = 0.007$ ).

FIGURA 3: Análise de nMDS ilustrando a composição de macroinvertebrados nos pontos amostrais na bacia do Rio Pandeiros nos períodos de (A) seca de 2014/15 e 2019 e (B) e seca e chuva 2014/15.



**DISCUSSÃO**

Nós não encontramos diferenças significativas na composição, riqueza e abundância de macroinvertebrados comparando períodos de seca e chuva em um mesmo ano. Por outro lado, observamos acentuada variação na composição taxonômica, riqueza e abundância de macroinvertebrados entre períodos de seca em um intervalo de 4 anos. Apesar dessa diferença na estrutura e composição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, não foram observadas diferenças nos parâmetros físicos e químicos na coluna d’água.

Esses resultados enfatizam o fato de que mesmo em reduzidas escalas temporais (anos), as comunidades de macroinvertebrados podem ter significativas variações em sua composição e estrutura. Essas variações podem ser em função de diversos fatores, desde variações em função da história de vida e ciclos reprodutivos das espécies, até variações em características ambientais que atuam como filtros selecionando as espécies que conseguem se manter. Dessa forma, efeitos sazonais na composição e estrutura de comunidades de macroinvertebrados são importantes, não devem ser negligenciados e devem ser levados em consideração em programas de biomonitoramento de longo prazo (Reece *et al.*, 2001).

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

Para barragens que chegaram ao final de sua vida útil, ou que não mais proveem benefícios sociais que excedam seus custos, sua remoção é geralmente um resultado de gerenciamento para segurança, eficiência de custos e melhoria do habitat (O'Connor *et al.*, 2015). Contudo, os efeitos de uma possível remoção da barragem na estrutura, funcionamento e estabilidade de comunidades aquáticas são complexos e variam espaço-temporalmente (Claeson & Coffin, 2015, Renofalt *et al.*, 2013). Nossos resultados identificaram claramente essa variabilidade natural nas comunidades bentônicas no Rio Pandeiros, importante tributário do Rio São Francisco. Para a futura revitalização da bacia do Rio São Francisco, recomenda-se o biomonitoramento de suas águas e tributários como o Rio Pandeiros, incluindo o monitoramento após a remoção da PCH Pandeiros.

### REFERÊNCIAS

- ABELL, R.; THIEME, M. L.; REVENGA, C.; BRYER, M.; KOTTELAT, M.; BOGUTSKAYA, N.; PETRY, P. **Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation.** *BioScience*, 58, 403–414, 2008.
- ANDERSON, D.; MOGGRIDGE, H.; WARREN, P.; SHUCKSMITH, J. **The impacts of ‘run-of-river’ hydropower on the physical and ecological condition of rivers.** *Water Environment Journal*, 29, 268–276, 2015.
- AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; GOMES, L. C. **Dams and the fish fauna of the Neotropical region: Impacts and management related to diversity and fisheries.** *Brazilian Journal of Biology*, 68, 1119–1132, 2008.
- AZEVEDO-SANTOS, V.M.; FREDERICO, R.G.; FAGUNDES, C.K.; *et al.* **Protected areas: A focus on Brazilian freshwater biodiversity.** *Diversity and Distributions*. 25: 442–448, 2019.
- BEDNAREK, A.T. **Undamming Rivers: A Review of the Ecological Impacts of Dam Removal.** *Environmental Management*. 27, 803–814, 2001.
- BONADA, N., PRAT, N., RESH, V. H., & STATZNER, B. **Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches.** *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523, 2006.
- Claeson, S.; Coffin, B. **Physical and biological responses to an alternative removal strategy of a moderate-sized dam in Washington, USA.** *River Research and Applications*. 32, 1143–1152, 2015.
- COSTANZA, R.; D’ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B., *et al.* **The value of the world’s ecosystem services and natural capital.** *Nature* 387, 253–260, 1997.
- DRUMMOND, G. M., MARTINS, C. S., MACHADO, A. B. M., SEBAIO, F., & ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais: Um atlas para sua conservação.** Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- DUDGEON, D.; ARTHINGTON, A. H.; GESSNER, M. O.; KAWABATA, Z. I.; KNOWLER, D. J.; LEVEQUE, C.; NAIMAN, R. J.; PRIEUR-RICHARD, A. H., SOTO, D.; STIASSNY, M. L. J.; SULLIVAN, C. A. **Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges.** *Biological Reviews* 81, 163–182, 2006.
- FONSECA, E. M. B.; GROSSI, W. R.; FIORINI, F. A.; PRADO, N. J. S. **PCH Pandeiros: Uma complexa interface com a gestão ambiental regional.** In VI simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. Minas Gerais, Brazil: Belo Horizonte, 2008.
- MALONEY, K. O.; DODD, H. R.; BUTLER, S. E.; WAHL, D. H. **Changes in macroinvertebrate and fish assemblages in a medium-sized river following a breach of a low-head dam.** *Freshwater Biology*, 53(5), 1055–1068, 2008.
- O’CONNOR, J. E.; DUDA, J. J.; GRANT, G. E. **1000 dams down and counting.** *Science* 348: 496–467, 2015.

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.Rproject.org>, 2015.

REECE PF, REYNOLDSON TB, RICHARDSON JS, ROSENBERG DM. **Implications of seasonal variation for biomonitoring with predictive models in the Fraser River catchment, British Columbia**. Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences. 58:1411–7, 2001.

REID, A.J.; CARLSON, A.K.; CREED, I.F.; ELIASON, E.J.; GELL, P.A.; JOHNSON, P.T.J.; KIDD, K.A.; MACCORMACK, T.J.; OLDEN, J.D.; ORMEROD, S.J.; SMOL, J.P.; TAYLOR, W.W.; TOCKNER, K.; VERMAIRE, J.C.; DUDGEON, D.; COOKE, S.J. **Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity**. Biological Reviews, 94: 849-873, 2019.

RENÖFÄLT, B.; LEJON, A.G.; JONSSON, M.; NILSSON, C. **Long-term taxon-specific responses of macroinvertebrates to dam removal in a mid-sized swedish stream**. River Research and Applications. 29, 1082–1089, 2013.

STRAYER, D. L.; DUDGEON, D. **Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges**. Journal of the North American Benthological Society 29, 344–358, 2010.

### AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelos P&Ds Aneel-Cemig GT-550, GT-599 e GT-611. DMPC é bolsista de pós-doutorado no P&D Aneel-Cemig GT-611 e MSL é bolsista de pós-doutorado no P&D Aneel-Cemig GT-599.